

⑤

Int. Cl. 2:

F03B 13/12

⑥ BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



DT 25 05 290 A1

⑪

Offenlegungsschrift 25 05 290

⑫

Aktenzeichen: P 25 05 290.8

⑬

Anmeldetag: 7. 2. 75

⑭

Offenlegungstag: 19. 8. 76

⑮

Unionspriorität:

⑮ ⑮ ⑮

—

⑯

Bezeichnung: Vorrichtung zur Umwandlung von Wellenenergie in elektrische Energie

⑰

Anmelder: Bieren, Karlheinz von, Dr.-Ing., New York, N.Y. (V.St.A.)

⑱

Vertreter: Reitschuster, J., Prof. Dipl.-Ing. Dipl.-Chem. Dr.phil. Dr.techn.;
Bunte, W., Dr.-Ing.; Kinzebach, W., Dipl.-Chem. Dr. phil.; Pat.-Anwälte,
8000 München

⑲

Erfinder: gleich Anmelder

DT 25 05 290 A1

2505290

PATENTANWÄLTE
PROF. DR. DR. J. REITSTÖTTER
DR.-ING. WOLFRAM BÖNTE
DR. WERNER KINZEBACH

D-8000 MÜNCHEN 40, BAUERSTRASSE 22 - FERNRUF (053) 37 65 22 - TELEX 521020X IRAB D
POSTANSCHRIFT: D-8000 MÜNCHEN 40, POSTFACH 780

München, 7. Februar 1975
M/15 522

Dr. Ing. Karlheinz von Bieren
Tudor Hill Laboratory F.P.O., New York, N.Y. 09560, USA

Vorrichtung zur Umwandlung von Wellenenergie in elektrische Energie

Alle Anzeichen sprechen dafür, daß die Welterdölversorgung versiegt, lange bevor die totale nukleare Energieversorgung einsetzt. Es ist demnach unumgänglich - zumindest als Übergangslösung - zur direkten Nutzbarmachung der in Form von Sonnenstrahlung von der Erdkugel aufgefangenen Energie überzugehen. Diese eingestrahlte Energie wird vorübergehend auf der Erdkugel in der Form von kinetischer und potentieller Energie (Wind, Wellen) und Wärmeenergie sowie in endothermen chemischen Umsetzungen gespeichert. Nachdem 71% der Erdkugel von den Weltmeeren bedeckt sind, wird der Löwenanteil dieser eingestrahlten Energie auf den Weltmeeren gespeichert.

Es läßt sich zeigen, daß ein Bruchteil der auf den Weltmeeren in Form von Wasserwellen gespeicherten Energie genügen würde, um den gesamten gegenwärtigen Weltenenergiebedarf zu decken.

Langjährige Messungen an Meereswellen zeigen, daß die freie Meeresoberfläche allerorts praktisch immer Meereswellen enthält, die für den Energieentzug geeignet sind. Es sind also keine Speicherprobleme zu lösen, um Zeiträume geringer Einstrahlung (Nacht, starke Bewölkung, etc.) zu überbrücken. Man fand, daß selbst bei Windstärke Null die Wellenhöhe (offenes Meer) etwa 1 m beträgt, bei einer Periodendauer von 7 Sekunden. Im Mittel beträgt die Windstärke 20 Knoten, bei dieser Windstärke ist die mittlere Wellenhöhe 2,3 m, die Periodendauer 6,5 Sekunden und die entsprechende mittlere Wellenlänge ca. 67 m. Bei Windstärke 12 (ca. 65 bis 70 Knoten) beträgt die mittlere Wellenhöhe 8,5 m und die Periodendauer 10,3 Sekunden.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist die Schaffung einer einfachen Vorrichtung, welche es ermöglicht, die Wellenenergie in elektrische Energie umzusetzen. Nachdem die Weltmeere im Mittel sehr tief sind (5 km), muß das Gerät frei schwimmend - ohne Verankerung - im Dauerbetrieb arbeiten können. Außerdem muß es so gebaut und an die Welle angepaßt sein, daß es die Umsetzung von Wellenenergie in elektrische Energie optimal durchführt. Weiterhin soll eine große Anzahl derartiger Wellenwandler im Parallelbetrieb arbeiten können, so daß auch Großkraftanlagen nach dem Bausteinverfahren mit dem Wellenwandler zusammengesetzt werden können.

Das Gerät, welches diese Bedingungen erfüllt, ist der frei schwimmende Wellenenergiewandler.

Der frei schwimmende Wellenenergiewandler besteht im wesentlichen aus einem Auftriebskörper T, welcher durch ein über eine drehbare Spule K laufendes Seil S mit einem tiefer hängenden Senk- oder Widerstandskörper G verbunden ist (Figur 1), wobei die Spule K einen Stromgenerator M antreibt, der über Schaltvorrichtungen mit einem Stromabnehmer R elektrisch verbunden ist. Der Widerstandskörper G soll möglichst stabil im Raum verharren, während der Auftriebskörper der Wellenkontur folgt. Wird nun der Auftriebskörper vom Wellental auf den Wellenberg angehoben, dann treibt das im Auftriebskörper von einer Spule K ablaufende Seil einen elektrischen Generator M an, welcher während dieser Aufwärtsbewegung nutzbaren Strom erzeugt.

Bei der Umformung von Wellenenergie in elektrische Energie mit Hilfe des frei schwimmenden Wellenenergiewandler sind daher im allgemeinen 2 Takte zu unterscheiden: Ein Arbeitstakt und ein Rückstelltakt.

Die Kraft, welche für den Arbeitstakt zur Verfügung steht, ist durch das Archimedische Prinzip bestimmt, wonach der Auftrieb, infolge einer Welle, gleich dem Gewicht der verdrängten Wassermenge ist. Um diese Kraft zur Arbeitsleistung heranzuziehen, ist es notwendig, einen Widerstandskörper vorzusehen, der sich möglichst stabil verhält und die gesamte Auftriebskraft - möglichst ohne Eigenbewegung - aufnehmen kann. Wird nun der Schwimmkörper durch eine Welle hochgehoben, dann treibt diese Bewegung den Generatortrieb im Wellenwandler an und produziert elektrische Energie. Nachdem der Widerstandskörper sich nicht vollkommen stabil verhält, wird auch dieser während des Arbeitstaktes um einen gewissen Betrag Δx angehoben. Bei dem nun folgenden Rückstelltakt, wenn der Schwimmkörper in das Wellental gelangt, muß das Seil wieder auf die Spule aufgewickelt werden und der Widerstandskörper muß um den Betrag Δx gesenkt werden.

Für die Seilaufwicklung kann entweder eine mechanische Feder benutzt werden, oder der Generator kann auf Motorbetrieb mittels shunt-Widerständen W über den Dioden umgeschaltet werden. Dazu ist ein Elektrizitätsspeicher L geringer Kapazität nötig (Figur 2).

Um die Rückstellung des Widerstandskörpers ohne große Kraftaufwendung zu gewährleisten, wird nun die Form des Widerstandskörpers geändert. Dazu werden die Fächer A gelenkig im Punkt F befestigt, und zwar so, daß sie von der in Figur 1 gezeigten Stellung bei Bewegung in Richtung Meeresboden nach oben klappen können. Bei der Abwärtsbewegung, wofür Gewicht g sorgt, klappen die beiden Fächer nach oben, wodurch der hydrodynamische Widerstand für die Abwärtsbewegung ein Minimum erreicht. Das geringe Gewicht g genügt daher, um den Widerstandskörper wieder in die Ausgangsposition für den nächsten Arbeitstakt zu ziehen. Sobald die Aufwärtsbewegung wieder einsetzt, stellen sich die Fächer A infolge des hydrodynamischen Widerstandes wieder auf maximalen Widerstand.

Um auch Wellen geringer Höhe zur Arbeitsleistung heranzuziehen zu können, müssen diese Widerstandsklappen einen möglichst kurzen Weg durchlaufen; das kann durch eine größere Anzahl kleiner Klappen auf einer großen stabilen Widerstandsfläche erreicht werden.

Figuren 3 und 11 zeigen eine derartige Widerstandsfläche mit gelenkigen selbstgesteuerten Klappen, und Figuren 4 und 9 zeigen die Anordnung dieser Widerstandsflächen im Wellenwandler.

Die Anzahl dieser richtungsabhängigen Widerstandsflächen kann den Umständen entsprechend beliebig gewählt werden. Figur 4 zeigt zwei dieser Stufen. Um einen stabilen Betrieb zu gewährleisten, ist es angebracht, die Widerstandsflächen

anzuwinkeln (figuren 4 und 5). Bei der Rückstellung der Widerstandsstufen durch das Eigengewicht oder Gewicht G werden die Widerstandsstufen dann automatisch in die horizontale Ausgangslage gezogen, sofern die geöffneten Widerstandsflächen symmetrisch sind.

Der Auftriebskörper enthält - entsprechend seiner Funktion - das Auftriebsvolumen (Luftfüllung oder Schaumplastikfüllung) sowie den Generator mit Übersetzung und Seilspule und Regel- und Steuereinrichtungen für die An- und Entkopplung des Generators und für die Rückspulung des Seils.

Die Umsetzung von mechanischer Arbeit in elektrische Arbeit erfolgt ganz allgemein nach dem Induktionsprinzip. Im einfachsten Fall handelt es sich also um einen Gleichstrom- oder Wechselstromgenerator, welcher während des Arbeitstaktes an das Verbrauchernetz angekoppelt wird. Die Ankopplung während des Arbeitstaktes und die Entkopplung während des Rückstelltaktes kann entweder mechanisch (mit Hilfe von richtungsabhängigen Kupplungen), oder elektrisch (durch stromrichtungsabhängige Dioden) durchgeführt werden.

Beispiel für einen Wellenenergiewandler, wie in Figur 5 dargestellt.

Er besteht aus einem Auftriebskörper T und einem Senkkörper bzw. Widerstandskörper G sowie Hubkörper C. Der Auftriebskörper enthält neben dem Auftriebsvolumen (luftdichte Tonne oder Schaumplastik) den Generatortrieb sowie den Gleichstromgenerator. Der Senkkörper ist eine Tonne mit Wasserfüllung und der Hubkörper ist ein Stück Metall welches das Seil S freilaufend umschließt. Dieses Seil ist an einem Ende fest mit dem Hubkörper und am anderen Ende fest mit dem Senkkörper verbunden.

Wird nun der Auftriebskörper von einer Welle hochgehoben dann wird der Hubkörper ebenfalls angehoben während der

Senkkörper infolge seiner großen Trägheit (Wasserfüllung) und Formgebung annähernd in Ruhe verharrt. Dadurch rollt das Seil über den Generatortrieb H und treibt den Gleichstromgenerator M an. Die beiden Dioden D sind so geschaltet, daß der in diesem Arbeitshub erzeugte Strom zum Verbraucher R gelangt. In dem nun folgenden Rückstellhub, wo der Auftriebskörper sich abwärts bewegt, senkt sich auch der Hubkörper und treibt den Generator in umgekehrter Richtung. Infolge der Dioden kann der Strom in umgekehrter Richtung nicht zum Verbraucher gelangen, so daß während des Rückstellhubs keine elektrische Arbeit verrichtet wird. Der Hubkörper sorgt nun infolge seiner eigenen Abwärtsbewegung dafür, daß das Seil straff über die nun unbelastete Triebrolle läuft, bis die Ausgangsstellung erreicht ist und der nächste Arbeitshub beginnt. Die Rückstellvorrichtung kann auch als Feder in der Seilspule oder zwischen B und G oder als elektrische Rückstellvorrichtung ausgebildet sein, wie z.B. in Figur 6 und 7 dargestellt. Der Senkkörper könnte als Seeanker ausgebildet sein. Es kann auch vorteilhaft sein den Generator und sein Getriebe in den Senkkörper zu verlegen.

Die Dimensionierung des Energiewandlers ist so ausgelegt, daß die anlaufende Welle nicht an ihm reflektiert wird, sondern daß ein Teil der Wellenenergie in den Wandler übertragen wird ohne die Welle merklich zu stören. Das ist dann der Fall, wenn die Dimensionen des Auftriebskörpers klein sind im Vergleich zur Wellenlänge. Die Tiefe des Senkkörpers wird so gewählt, daß dieser nicht merklich von der Wellenkreisbewegung der Teilchen, die sich gedämpft, in die Tiefe hinein fortpflanzt, beeinflusst wird. Außerdem muß das Gerät Wellen von etwa 10 Meter Höhenunterschied ohne Schädigung verkraften können. Eine Tiefeneinstellung von 20 Meter stellt demnach einen annehmbaren Kompromiß dar. Als brauchbares Ausführungsbeispiel kann daher die folgende Anordnung angesehen werden.

Auftriebsvolumen des Schwimmkörpers:	1,95 m ³
Volumen des Senkkörpers:	3,0 m ³
Ruhetiefe des Senkkörpers:	20 m
Gewicht des Hubkörpers:	4 kg

Die Leistung dieses Gerätes beträgt bei normalem Wellengang (Wellenhöhe 2,3 m, Periode 6,5 sek) 4 Kilo-Watt. Während das gleiche Gerät bei hohem Seegang (Wellenhöhe 8,5 m, Periodendauer 10,3 sek) etwa 7,5 KW leistet. Dabei ist der Gesamtwirkungsgrad mit 50% angesetzt.

Beispiel für einen Wellenenergiewandler, ca. 20 kW Leistung, mit elektrischer Rückspulautomatik

Die nachstehend beschriebene Vorrichtung leistet bei einer angenommenen Wellenhöhe von 2,3 m und einer Periodendauer von 6,5 sek. ca. 20 KW. Diese Vorrichtung ist durch folgende Parameter gekennzeichnet:

Auftriebsvolumen:	12 m ³
Auftriebskraft bei völliger Versenkung	11000 kg
maximale Vertikalgeschwindigkeit des Schwimmkörpers bei sinus-förmigen Wellen	1,11 m/sek
maximale Vertikalgeschwindigkeit des Seeankers (aufwärts):	0,5 m/sek
Normalströmungsfläche einer Stufe (aufwärts):	221 m ²
maximaler Strömungswiderstand der drei Stufen (aufwärts):	10000 kg
maximaler Strömungswiderstand der drei Stufen (abwärts):	200 kg
Gewicht des Widerstandskörpers (3 Stufen) im Seewasser:	250 kg
Rückspulkraft am Seil:	250 kg
Länge des Seils auf vollgewickelter Spule:	15 m

Funktionsweise:

Bei der Abwärtsbewegung spult zuerst der automatisch auf Motorbetrieb umgepolte Generator das Seil auf die Spule auf; d.h. der Motor zieht den Schwimmkörper mit geringer Kraft nach unten. Folglich sind die Widerstandsklappen während dieses Vorganges geschlossen. Sobald der Schalter die Aufspulautomatik abschaltet, öffnen sich die Klappen an den Widerstandsstufen und Schwimmkörper und Widerstandskörper bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit nach unten, bis der Schwimmkörper ins Wellental gelangt.

Figur 9 zeigt die Proportionen einer derartigen Vorrichtung, insbesondere die Größen und Abstände der Widerstandsflächen A. Die in Figur 9 abgebildete Vorrichtung zeigt drei leicht angewinkelte Widerstandsflächen A, deren Winkel zum Hauptseil S durch die Länge der vom Hauptseil abzweigenden Halteseile HS bestimmt ist. Die in Figur 9 gezeigte Vorrichtung stellt einen Sesanker ohne ein zusätzlich angebrachtes Gewicht g dar.

In Figur 10 ist eine beispielhafte Ausführungsform eines Auftriebskörpers dargestellt. Der apparative Teil des Auftriebskörpers wird von einer luftdichten Schaumplastikhaube (1) umgeben, die den erforderlichen Auftrieb verleiht, das Ganze abdichtet und als Kollisionsschutz dient. Im oberen Teil des Auftriebskörpers befindet sich der Generator (2), der ohne Funkenbildung arbeitet. Dieser Generator wird über eine keilriemengetriebene Übersetzung (3) angetrieben. Ein Schalter (4) dient zum Abschalten der elektrischen Aufspulautomatik. Das zu den Widerstandsflächen führende Seil S wird durch eine Spindel (5) auf der Spule (6) geführt, letztere treibt

die Übersetzung (3) an. In dem Raum oberhalb der Spule befinden sich Elektroden (7) für den Fall, daß Wasser bis zu dieser Höhe einströmt, bildet sich H_2 - und Cl_2 -Gas an den Elektroden, welches das Wasser verdrängt. Ein Gerüst (9) dient als stabiler Rahmen und zur Wärmeableitung des Generators und der Elektronik und Schaltautomatik (8).

Figur 11 zeigt eine beispielhafte Ausführungsform einer Widerstandsfläche A mit gelenkig befestigten selbstgesteuerten Klappen B im geöffneten Zustand.

Beispiel für eine Vorrichtung zur Erzeugung hoher Leistungen

Nachdem die der Welle entzogene Leistung klein ist im Vergleich zur spezifischen Gesamtleistung der Welle, ist zu erwarten, daß die Welle relativ ungestört weiterläuft nur mit entsprechend verkleinerter Amplitude. Selbst beim Entzug größerer Leistungen wird sich die Wellenform nach relativ kurzer Distanz infolge von Beugung zur ungestörten Form stabilisieren, solange die Dimensionen des Energiewandlers klein sind im Vergleich zur Wasserwellenlänge. Man kann demnach eine größere Zahl von Energiewandlern nacheinander schalten und die entsprechenden Ausgangsströme aufsummieren. Legt man die Energiewandlerkette so aus, daß sich ihre Länge über viele Wasserwellenlängen erstreckt, so wird der aufsummierte Gleichstrom ziemlich gleichförmig sein, da sich dauernd eine gleichmäßige Anzahl von Wandlern im Arbeitshub befindet.

Um mit dem im vorhergehenden Abschnitt beschriebenen Wandler von 4 KW Leistung eine Leistung von 2 MW zu erzeugen, sind 500 Wandler nötig, die alle in Kettenform angeordnet sein können, mit einem gegenseitigen Abstand von etwa 2 m, so daß die gesamte Kette eine Länge von 1 km einnimmt. Figur 8 zeigt einen Ausschnitt aus der Kette; die Verbin-

dungskabel zwischen den Wandlern enthalten den Hauptstromleiter. Um eine mechanische Überlastung der Kabel infolge von gegenläufigen Wasseroberflächenströmen zu vermeiden, sind jeweils zwischen den Wandlern Dämpfungsglieder P angebracht. Nachdem die der Welle entzogene Leistung von 2 MW der Leistung entspricht, welche eine Welle von 30 m Breite und 2,3 m Höhe trägt, werden auch die letzten Wandler der Kette den vollen Hub erleiden. Denn die Beugungseffekte treten um so stärker in Erscheinung je kleiner die Beugungswinkel sind. Sicherlich spielen aber die Fragen der Beugung anfänglich eine untergeordnete Rolle im Vergleich zu denen der Wellenanpassung. Denn es ist klar, daß zu große Energiewandler überhaupt keinen Hub erleiden. Man denke nur an Schiffe der Größenordnung 100 m; sie sind absichtlich schlecht an die Welle angepaßt. Andererseits kann der individuelle Wandler einer Kette sicherlich größer sein als der im vorhergehenden Abschnitt dargestellte Wandler, wodurch sich die Zahl der Wandler einer Kette bei gegebener Gesamtleistung entsprechend reduzieren würde.

. 19 .

P A T E N T A N S P R Ü C H E

1. Frei schwimmende Vorrichtung zur Umwandlung von Wellenenergie in elektrische Energie, bei der ein Auftriebskörper mit einem unter Wasser befindlichen Widerstandskörper verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, daß der Auftriebskörper T durch ein über eine drehbare Spule K laufendes Seil S mit einem tiefer hängenden Senk- bzw. Widerstandskörper G verbunden ist, wobei die Spule K einen Stromgenerator M antreibt, der über Schaltvorrichtungen mit einem Stromabnehmer R elektrisch verbunden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Senk- bzw. Widerstandskörper G gelenkig befestigte Widerstandsflächen A aufweist, die bei Bewegung in Richtung Wasseroberfläche einen Winkel von maximal 90° zum Seil bilden und bei Bewegung in Richtung Meeresboden nach oben parallel zum Seil S klappen können.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Widerstandsfläche A eine Serie selbstgesteuerter Klappen B aufweist, die gelenkig mit A verbunden sind und bei Bewegung in Richtung Wasseroberfläche in der Widerstandsfläche A befindliche Öffnungen verschließen.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Seil S am einen Ende mit dem Senk- bzw. Widerstandskörper G und am anderen Ende mit einem Hubkörper C verbunden ist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Spule S eine mechanisch oder elektrisch durch den als Motor geschalteten Generator M angetriebene Seilwinde mit einem Anschlag für maximalen Seilauszug und einem Anschlag für maximalen Seileinzug ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß das Seil am einen Ende mit dem Senkkörper G und am anderen Ende mit einer ebenfalls am Senkkörper G befestigten Rückstellfeder verbunden ist.

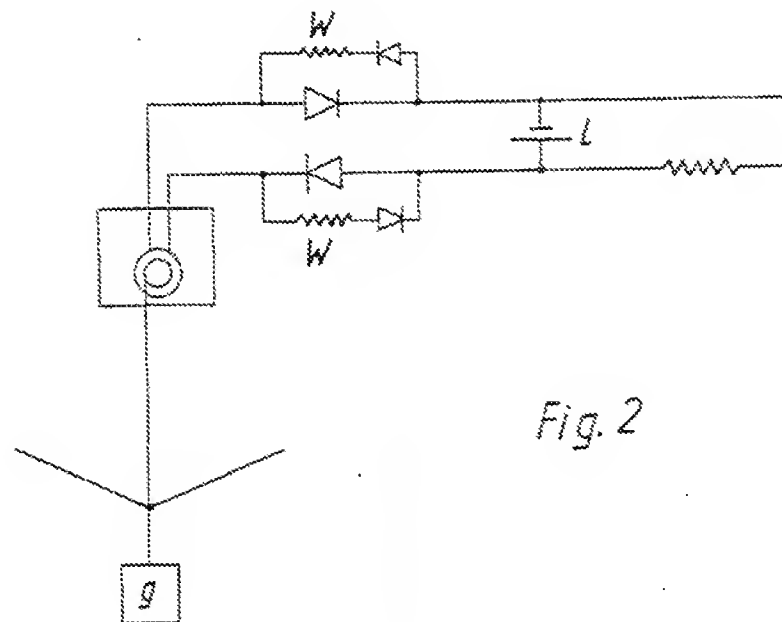
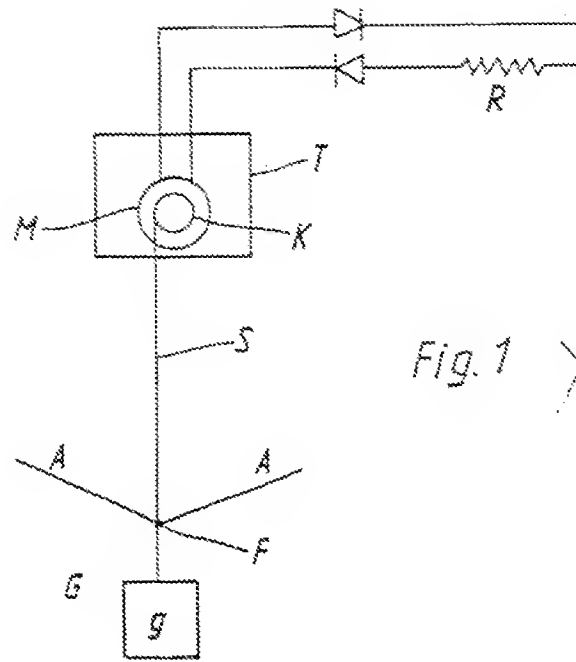
7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 und 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Senk- bzw. Widerstandskörper G ein Seeanker ist.

- 12 -
Leerseite

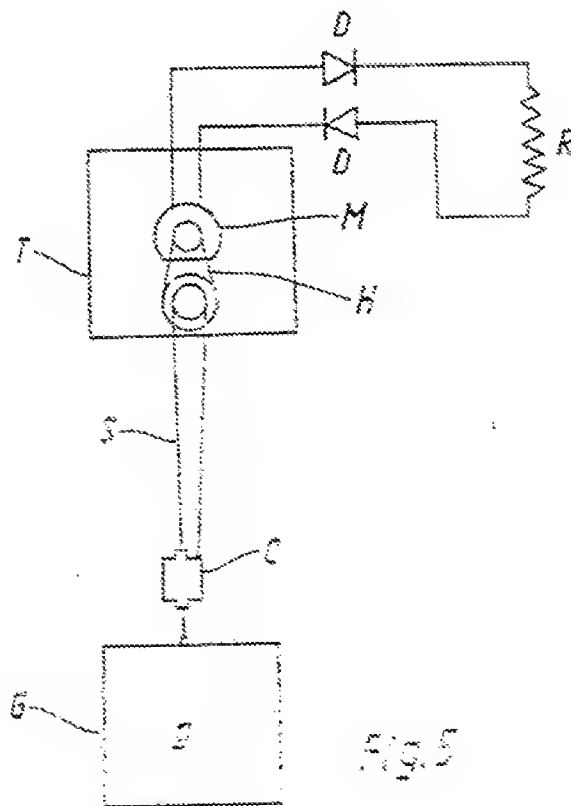
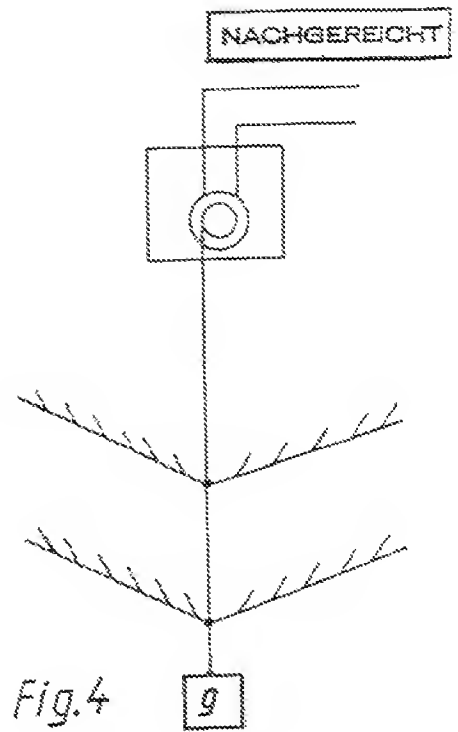
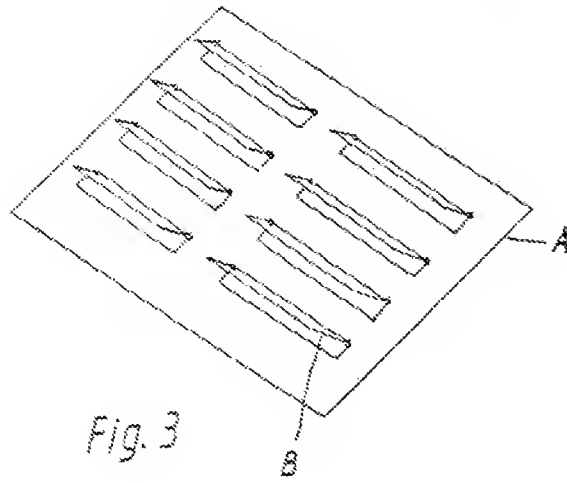
С. 11

49

NACHGEFICHT



. 1x .



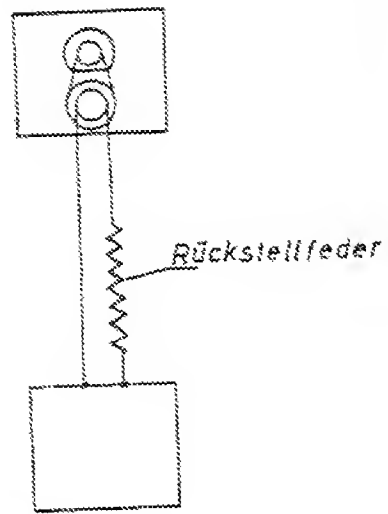


Fig. 6

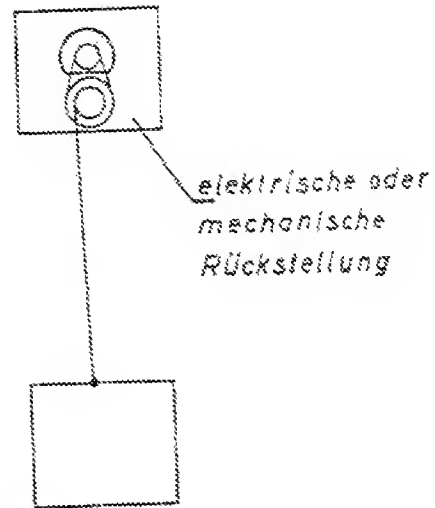


Fig. 7

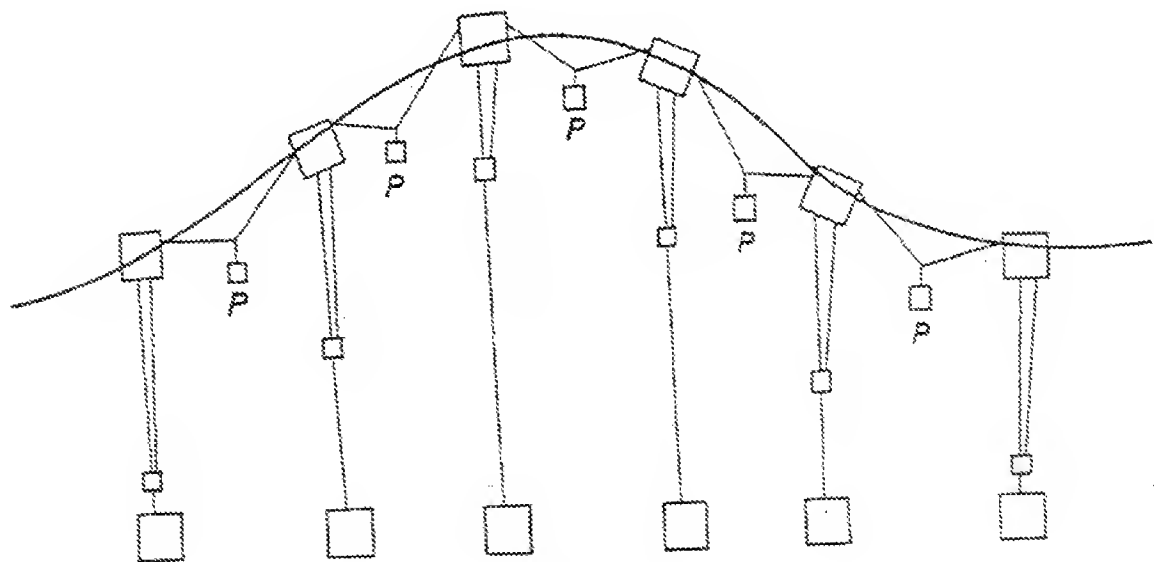


Fig. 8

Fig. 9

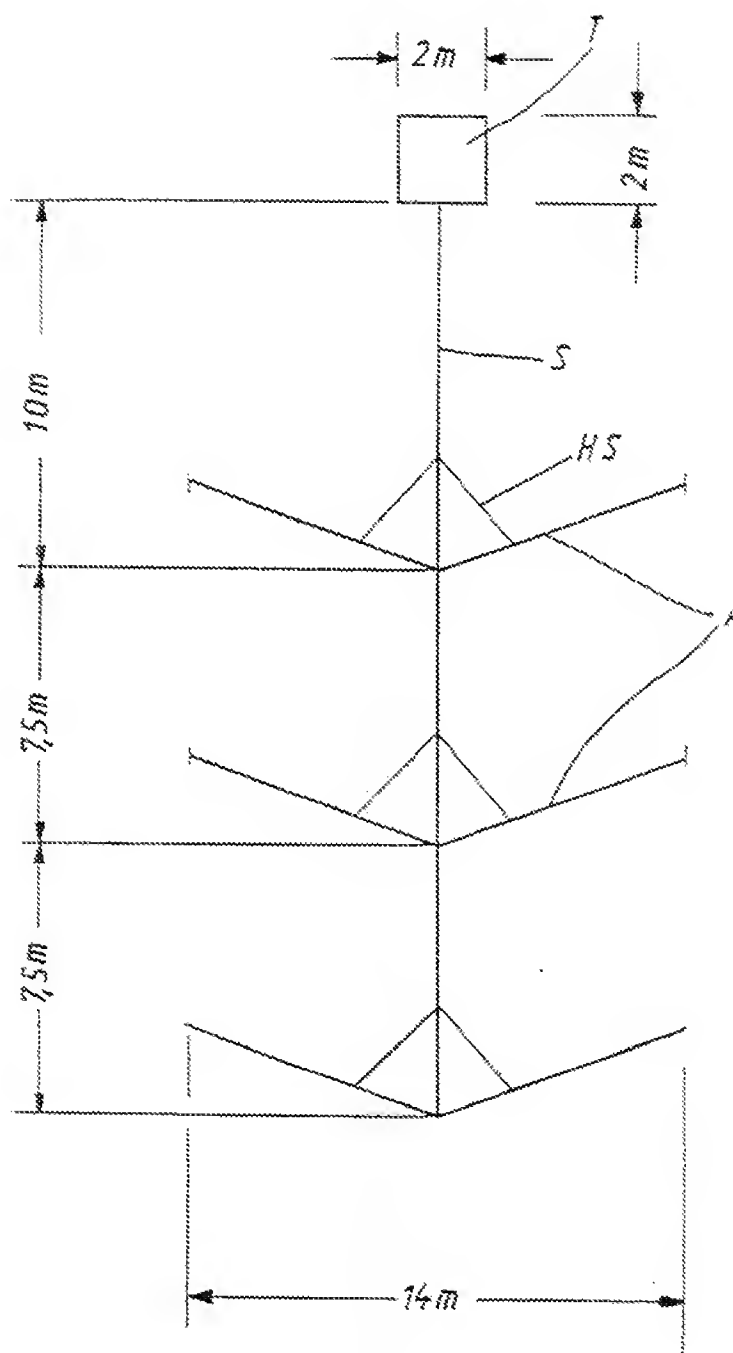
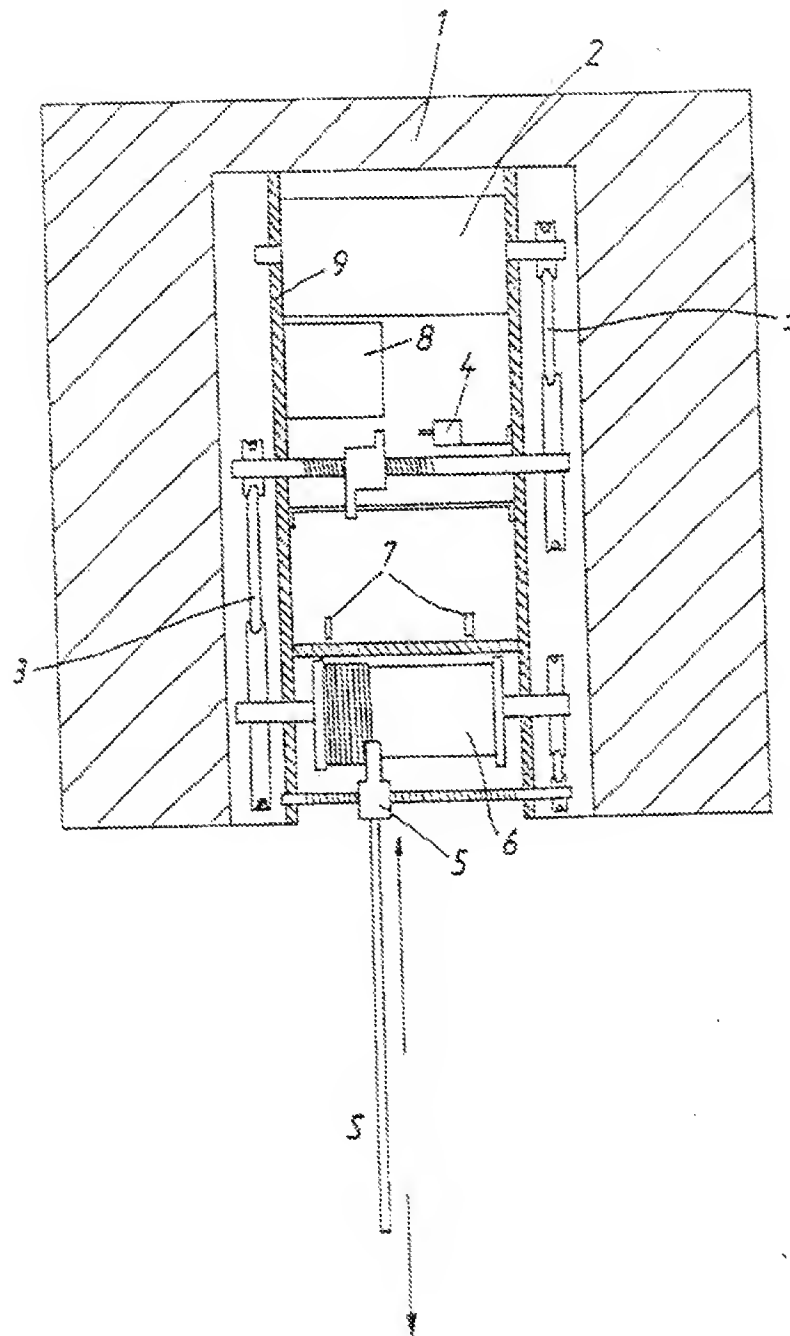
 $m = \text{Meter}$

Fig. 10



- 18.

NACHGEREICHT

Fig. 11

